

II-336 礫間接触酸化法の海水浄化効果に関する一実験

大阪市立大学 学生員 ○大屋博史 岡本良治
正会員 小田一紀

1. はじめに

運輸省では様々な生態系と物理系の作用を積極的に海水浄化に利用する“シーブルー計画”を策定し、その対策の一つとして生物膜法の利用を挙げている。生物膜法は、下水処理の有効な手段としてもつばら普及しているが、最近、河川水の浄化法としても注目され、その一つである礫間接触酸化法の実用化試験が各地で実施されている。しかし、この方法が、下水や河川水と比べて一般に低濃度である汚濁海水に、どの程度有効であるかについてはほとんど研究された例はない。

筆者らは、この礫間接触酸化法が海水浄化に対してどの程度の効果を有するかを海岸工学的見地から研究を行っており¹⁾、今回実海水を用いたバッチ実験を行い、ある程度の成果を得たのでここに報告する。

2. 実験方法

図-1に示すような実験水槽の中に粒径5cm程度の碎石を詰め（比表面積約80m²/m³）、汚濁物質としてスキムミルクを溶かした実海水を約3か月間水槽内に循環させ馴致した。なお、光合成による影響を除くため水槽内は暗条件とした。その後、付属の攪拌タンクに水槽内の海水を移し一定汚濁負荷を与え再び水槽内に移し、水温、曝気量一定の下で、微流速（今回の実験では断面平均流速は0.48cm/sec）で水槽内を循環させ、COD(KMnO₄法)、TOC およびDO値の経時変化を測定した。なお、水温は13℃～25℃の間（実験中は一定）で、また初期濃度は5mg/l～20mg/lの間で変化させ、浄化効果に及ぼすそれら因子の影響を調べた。

3. 理論的考察

微生物による有機物の分解速度は一般に一次反応式で表されるが、今回は後述の実験結果に基づいて、従来の一次反応式を若干変形した次の式で表す。

$$\frac{\partial L}{\partial t} = -k_r (L - L_b) \quad (1)$$

また溶存酸素濃度については次のように表す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -k_1 (L - L_b) + k_{La} (C_s - C) - r \quad (2)$$

ここに、 L は有機物濃度(mg/l)、 k_r は有機物除去速度定数(1/hr)、 L_b (mg/l)は図-2に示すように難分解性の有機物濃度を表しており、以後これを“基底濃度”と呼ぶことにする。 C は溶存酸素濃度(mg/l)、 k_1 は脱酸素係数(1/hr)、 k_{La} は総括酸素移動容量係数(1/hr)、 C_s は飽和溶存酸素濃度(mg/l)、 r は内性呼吸などの、負荷した有機物量に直接影響されない酸素消費速度(mg/l/hr)である。

初期有機物濃度を L_0 として、式(1)を積分すると、

$$L = (L_0 - L_b) e^{-k_r t} + L_b \quad (3)$$

式中の有機物除去速度定数 k_r は様々な因子の影響を受けるが、水温の影響が最も支配的であり、ある水温 T ℃における有機物除去速度定数 $k_{r(T)}$ は、20℃における有機物除去速度定数 $k_{r(20)}$ を基準にして次のように表される。

$$k_{r(T)} = k_{r(20)} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (4)$$

ここに θ は温度補正係数である。

4. 実験結果

図-3および図-4中の○印は、15℃、初期濃度約20mg/lの場合のCODとTOCの経時変化の実験結果を表す。図中の実線は実験値を式(3)に代入し最小自乗法を用いて有機物除去速度定数 k_r を決定し、式(3)を描いたものである。式(3)が実験値によく適合していることがわかる。河川水や生活排水など淡水の浄化を対象とした礫間接触酸化法に関する研究は比較的数量多く行われており、礫間での滞留時間が2～3時間あればBODは50%以上除去できるという結果も得られている²⁾。これを有機物除去速度定数 k_r に換算すると0.3～0.4(1/hr)程度となり、今回の海水を対象とした実験結果はこれと同程度の値を示している。図-5

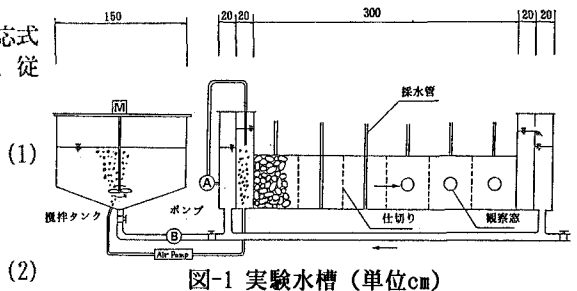


図-1 実験水槽（単位cm）

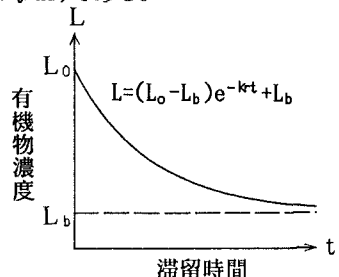


図-2 有機物分解過程

は、今回の海水を対象としたバッチ実験から得られたCOD に関する有機物除去速度定数 k_r と水温の関係を表したものであるが、この結果より式(4)中の水温補正係数 θ を求めるとCODでは約1.05、TOCでは1.04となり、また20℃における有機物除去速度定数 $k_{r(20)}$ はCODで0.57mg/l、TOCで0.30mg/lとなる。

有機物除去速度定数 k_r で表される浄化機能は大きく分けると、i)微生物による酸化分解、およびii)沈澱や礫への付着、の二つの機構に基づいている。しかし今回汚濁物質として用いたスキムミルクは海水に完全に溶解するため、ii)の浄化機構は考えられない。また、i)の機構についても、微生物によって摂食された有機物は直ちに全て酸化分解されるのではなく、微生物の体内に吸収され、それから酸化分解される。その酸化分解過程がどのようなものであるかを知るため、次に溶存酸素についての考察を行う。図-6は曝気を行う場合と行わない場合の溶存酸素濃度の経時変化を表わしたものである。この図によると曝気を行う場合は、有機物濃度が大きい段階では有機物の酸化分解に消費される酸素量が多いため、溶存酸素濃度は低下していく。しかし、有機物濃度が減少するとともに酸素消費量が減少し、曝気による溶解酸素量が勝るため、溶存酸素濃度は回復する。また、曝気を行わない場合は、微生物による酸素消費量を知ることができる。この時の酸素消費量は微生物が摂食した有機物を酸化分解するのに消費される量と、微生物の体内に貯蔵されている有機物を酸化分解するのに消費される量とから成り立っている。この曝気を行わない実験から式(2)の積分形を用いて脱酸素係数 k_1 を求めることができる。ただし、式(2)中の r は無負荷 ($L=L_0$)、無曝気 ($k_1a=0$) 実験から別に求めておく。脱酸素係数 k_1 は図-7に示すように実験開始後急激に増大し、その後、緩やかに増大しながら一定値に漸近していくようである。つまり、この結果から微生物は初期段階には主に有機物の摂食を行ない、その後有機物の酸化分解を行っていると考えられる。しかし、今回の実験では有機物濃度が低下し微生物が飢餓状態にある時、有機物の負荷を行っているが、実際の海域では有機物が常にある程度の濃度で存在しており、微生物が飢餓状態になることは少ないと思われる。このような状態では、微生物による摂食が今回の実験より少なくなることが予想される。今後、例えば連続的に有機物を負荷するなどの実験を行い、微生物の飢餓状態をなくし、微生物の摂食がどう変化するか調べる必要がある。

5. まとめ

今回の実験で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 海水中において礫間接触酸化法により有機物は分解され、その浄化速度は従来の一次反応式を若干変形した式(1)によく適合する。
- 海水中において有機物除去速度定数 k_r は初期濃度20mg/l以下程度では初期濃度にあまり影響を受けないが、水温の影響を強く受ける。今回の実験では、有機物除去速度定数 k_r と水温 $T(^{\circ}\text{C})$ との間に

$$\text{COD に関しては } k_{r(\text{COD})} = 0.57 \times 1.05^{(T-20)} \text{ (1/hr)},$$

$$\text{TOC に関しては } k_{r(\text{TOC})} = 0.30 \times 1.04^{(T-20)} \text{ (1/hr)}$$

の関係が得られた。そして、この有機物除去速度定数 k_r の値は、礫間接触酸化法を、河川や下水の浄化に用いた場合とほぼ同じである。

- 微生物は、有機物が負荷されると、初期には有機物の摂食をおもに行い、その後、有機物の酸化分解を行っているようである。

<参考文献>

- 小田一紀 他：礫間接触酸化機能を有する捨石堤の水質浄化効果の数値シミュレーション，第44回年講，pp.918~919,1989.
- 中村栄一 他：礫間浄化法による汚濁水の浄化，土木技術資料 Vol.29，pp.534~539,1987.

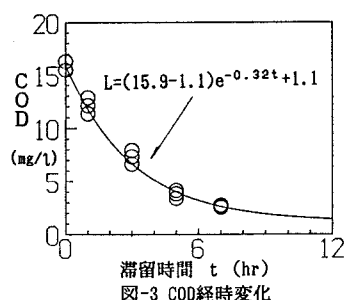


図-3 COD経時変化

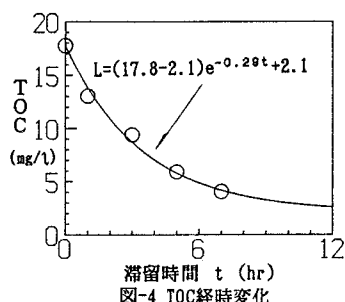


図-4 TOC経時変化

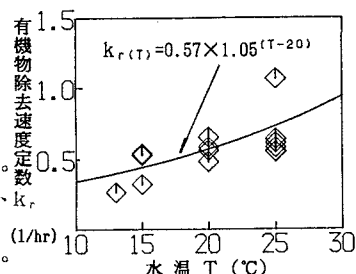


図-5 有機物除去速度定数 k_r と水温 T の関係 (COD)

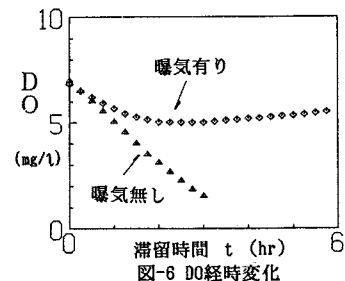


図-6 DO経時変化

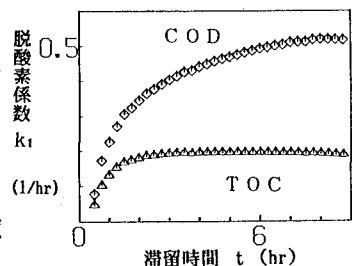


図-7 脱酸素係数 k_1 の経時変化